

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平7-297175

(43)公開日 平成7年(1995)11月10日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup> 識別記号 庁内整理番号 F I 技術表示箇所  
H 0 1 L 21/3065  
C 2 3 C 16/50  
C 2 3 F 4/00 D 8417-4K

H 0 1 L 21/ 302 C  
21/ 31 C

審査請求 未請求 請求項の数8 F D (全 9 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願平6-106045

(22)出願日 平成6年(1994)4月20日

(71)出願人 000219967

東京エレクトロン株式会社

東京都港区赤坂5丁目3番6号

(71)出願人 000109565

東京エレクトロン山梨株式会社

山梨県韭崎市長井町北下条2381番地の1

(72)発明者 友安 昌幸

山梨県韭崎市長井町北下条2381番地の1

東京エレクトロン山梨株式会社内

(72)発明者 奥石 公

山梨県韭崎市長井町北下条2381番地の1

東京エレクトロン山梨株式会社内

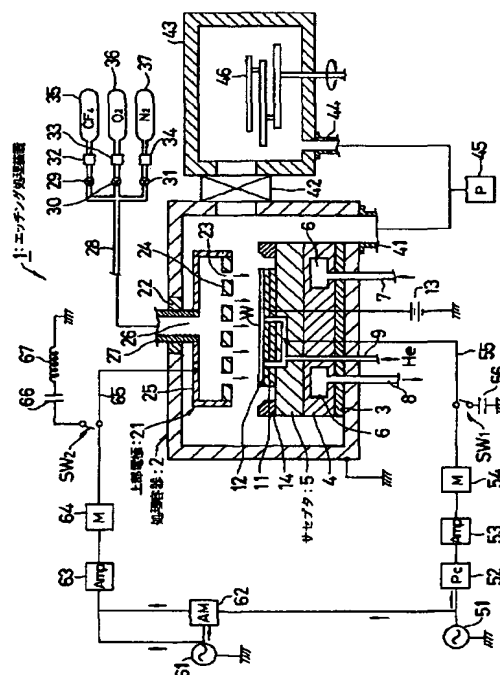
(74)代理人 弁理士 金本 哲男 (外1名)

(54)【発明の名称】 プラズマ処理方法及びプラズマ処理装置

(57)【要約】

【目的】 半導体ウエハなどの被処理体に対してプラズマ処理を行う場合、プラズマ中のイオンの追従性を良好にして、小さいパワーでもイオンを効率よく加速させて被処理体に入射させる。

【構成】 処理容器2内のサセプタ5に印加する高周波電力の周波数を、処理ガス固有の下端イオン遷移周波数よりも低い周波数とし、上部電極21に印加する高周波電力の周波数を、前記処理ガス固有の上端イオン遷移周波数よりも高い周波数とすることによって、プラズマ中のイオンの追従性を良好にできる。



**【特許請求の範囲】**

**【請求項 1】** 処理室内に処理ガスを導入すると共に、この処理室内に対向して設けられた第 1 の電極と第 2 の電極とに、それぞれ高周波電力を印加してプラズマを発生させ、この処理室内の被処理体に対して、前記プラズマ雰囲気の下で所定の処理を施すプラズマ処理方法において、

前記第 1 の電極に印加する高周波電力の周波数は、前記第 2 の電極に印加する高周波電力の周波数よりも低いものとし、

さらに前記処理ガス固有の下端イオン遷移周波数よりも低い周波数の高周波電力を前記第 1 の電極に印加し、前記処理ガス固有の上端イオン遷移周波数よりも高い周波数の高周波電力を前記第 2 の電極に印加することを特徴とする、プラズマ処理方法。

**【請求項 2】** 処理室内に複数のガスを混合した処理ガスを導入すると共に、この処理室内に対向して設けられた第 1 の電極と第 2 の電極とに、それぞれ高周波電力を印加してプラズマを発生させ、この処理室内の被処理体に対して、前記プラズマ雰囲気の下で所定の処理を施すプラズマ処理方法において、

前記第 1 の電極に印加する高周波電力の周波数は、前記第 2 の電極に印加する高周波電力の周波数よりも低いものとし、

さらに前記処理ガスにおける各個別のガスについての各固有の下端イオン遷移周波数の中で最も低い周波数の高周波電力を前記第 1 の電極に印加し、前記処理ガスにおける各個別のガスについての各固有の上端イオン遷移周波数の中で最も高い周波数の高周波電力を前記第 2 の電極に印加することを特徴とする、プラズマ処理方法。

**【請求項 3】** 処理室内に複数のガスを混合した処理ガスを導入すると共に、この処理室内に対向して設けられた第 1 の電極と第 2 の電極とに、それぞれ高周波電力を印加してプラズマを発生させ、この処理室内の被処理体に対して、前記プラズマ雰囲気の下で所定の処理を施すプラズマ処理方法において、

前記第 1 の電極に印加する高周波電力の周波数を 1 MHz 以下、前記第 2 の電極に印加する高周波電力の周波数を 10 MHz 以上とすることを特徴とする、プラズマ処理方法。

**【請求項 4】** 処理室内に処理ガスを導入すると共に、この処理室内に対向して設けられた第 1 の電極と第 2 の電極とに、それぞれ高周波電力を印加してプラズマを発生させ、この処理室内の被処理体に対して、前記プラズマ雰囲気の下で所定の処理を施すプラズマ処理方法において、

前記第 2 の電極には、前記第 1 の電極に印加される高周波よりも高い周波数の高周波を前記第 1 の電極に印加される高周波と同じ周波数で振幅変調した電力を印加させることを特徴とする、プラズマ処理方法。

**【請求項 5】** 処理室内に処理ガスを導入すると共に、この処理室内に対向して設けられた第 1 の電極と第 2 の電極とに、それぞれ高周波電力を印加してプラズマを発生させ、この処理室内の被処理体に対して、前記プラズマ雰囲気の下で所定の処理を施すプラズマ処理方法において、

前記第 2 の電極には 100 kHz ~ 1 MHz の周波数を有する高周波電力を印加し、前記第 1 の電極には、10 MHz 以上の周波数を前記第 1 の電極に印加される高周波と同じ周波数で振幅変調した電力を印加させることを特徴とする、プラズマ処理方法。

**【請求項 6】** 前記振幅変調は、正弦波、三角波、矩形波、鋸歯状波のいずれか、又はこれらの合成波形によって行うことを特徴とする、請求項 4 又は 5 に記載のプラズマ処理方法。

**【請求項 7】** 第 1 の電極と第 2 の電極とを処理室内において対向して有し、被処理体を載置する第 1 の電極は整合回路を介して相対的低周波電源に接続され、第 2 の電極は整合回路を介して高周波電源と接続されたプラズマ処理装置において、

前記第 1 の電極とその整合回路との間からグランドとの間に、容量成分を挿入し、

前記第 2 の電極とその整合回路との間からグランドとの間に、容量成分と誘導成分とを直列に挿入したことを特徴とする、プラズマ処理装置。

**【請求項 8】** 第 1 の電極と第 2 の電極とを処理室内において対向して有し、被処理体を載置する第 1 の電極は整合回路を介して相対的低周波電源に接続され、第 2 の電極は整合回路を介して高周波電源と接続されたプラズマ処理装置において、

前記第 1 の電極とその整合回路との間からグランドとの間に、高周波電力に対する合成インピーダンスが数  $\Omega$  以下、かつ低周波電力に対するインピーダンスが数 k  $\Omega$  以上となるようにインピーダンス成分を挿入し、

前記第 2 の電極とその整合回路との間からグランドとの間に、高周波電力に対する合成インピーダンスが数 k  $\Omega$  以下、かつ低周波電力に対するインピーダンスが数  $\Omega$  以上となるように、直列に容量成分を含んだインピーダンス成分を挿入したことを特徴とする、プラズマ処理装置。

**【発明の詳細な説明】****【0001】**

**【産業上の利用分野】** 本発明は、プラズマ処理方法並びにプラズマ処理装置に関するものである。

**【0002】**

**【従来の技術】** 従来から例えば半導体製造プロセスにおいては、半導体ウエハ（以下、「ウエハ」という）などの表面処理を行うために、処理室内に処理ガスを導入すると共に、この処理室内に対向して設けられた第 1 の電極と第 2 の電極とに、それぞれ高周波電力を印加してプ

ラズマを発生させ、処理室内のウェハに対して、前記プラズマ雰囲気の下で所定の処理、例えばエッチングやスパッタリングなどを施すプラズマ処理方法が実施されている。そして例えばエッチング処理の場合には、処理室内に導入したエッチングガスを前記プラズマ雰囲気で解離させ、それによって生じたイオンによって、前記ウェハをエッチングするようにしている。

【0003】ところでプラズマ処理による処理加工は、半導体デバイスの高集積化に伴ってますます微細な加工や、処理速度の向上が要求されている。そのため電極間に発生させるプラズマの密度も、より高密度化することが必要となってくるが、高真空度の下で単に周波数を上げて密度を高くするだけでは、被処理体にダメージを与え好ましくない。この点、例えば第1の電極と第2の電極に周波数の異なった電力を印加するようにし、高い方の周波数電力でプラズマを発生させ、低い方の周波数電力でイオンを引き寄せて処理をコントロールすることが提案されている。

【発明が解決しようとする課題】

【0004】しかしながら処理室内に導入された処理ガスをプラズマ化した際、周波数によって、当該プラズマ中のイオンの動きには差が生ずる。即ち高低2つの周波数を用いた場合、イオンエネルギーとプラズマ密度とを独立に制御することが可能であるが、周波数によってイオンの追従性が不安定で変化する周波数領域（いわゆる遷移周波数領域）があり、特に分子ガスを使用する場合には、解離の度合いの変化によりプラズマシース中の荷電粒子の追従性が変化し、イオン電流密度などのプラズマ諸特性が不安定になる。このことは処理自体を不安定なものとし、歩留まり低下の原因につながる。また前記した遷移周波数領域での追従性の変化の仕方も、イオン（質量）によって異なっており、特にエッチングやCVDなどで用いられる分子ガスでは、例えば高周波電力のわずかな増加で電子温度が高くなると、解離が必要以上に進んでしまい、シース内のイオンの振る舞いが変化してしまう。そしてプラズマ密度を高めるにあたって、前記したように単に周波数を上げるだけでは例えば解離が過度に進みすぎるなど問題があるので、周波数の高低には関係のない所で、プラズマ密度を向上させる好適な手段が望まれるところである。

【0005】本発明はかかる点に鑑みてなされたものであり、その第1の目的は、プラズマ中のイオンの追従性を良好にしてプラズマ特性を安定化させ、さらにはイオンの解離のコントロール、入射を促進させて選択性の高い、微細加工を実現することにある。また第2の目的は、パワーをさほど上げずにプラズマ密度を高くして、ダメージの少ない微細加工を可能にすることにある。

【0006】

【課題を解決するための手段】前記目的を達成するため、請求項1によれば、処理室内に処理ガスを導入する

と共に、この処理室内に対向して設けられた第1の電極と第2の電極とに、それぞれ高周波電力を印加してプラズマを発生させ、この処理室内の被処理体に対して、前記プラズマ雰囲気の下で所定の処理を施すプラズマ処理方法において、前記第1の電極に印加する高周波電力の周波数は、前記第2の電極に印加する高周波電力の周波数よりも低いものとし、さらに前記処理ガス固有の下端イオン遷移周波数（LITF：Lower Ion Transit Frequency）よりも低い周波数の高周波電力を前記第1の電極に印加し、前記処理ガス固有の上端イオン遷移周波数（UITF：Upper Ion Transit Frequency）よりも高い周波数の高周波電力を前記第2の電極に印加することを特徴とする、プラズマ処理方法が提供される。

【0007】かかる方法において、処理ガスとして複数のガスを混合した処理ガスを使用する場合には、請求項2に記載したように、各個別ガスについての固有の下端イオン遷移周波数の中で最も低い周波数の高周波電力を前記第1の電極に印加し、各個別ガスについての固有の上端イオン遷移周波数の中で、最も高い周波数の高周波電力を前記第2の電極に印加すればよい。

【0008】また請求項3によれば、処理室内に複数のガスを混合した処理ガスを導入すると共に、この処理室内に対向して設けられた第1の電極と第2の電極とに、それぞれ高周波電力を印加してプラズマを発生させ、この処理室内の被処理体に対して、前記プラズマ雰囲気の下で所定の処理を施すプラズマ処理方法において、前記第1の電極に印加する高周波電力の周波数を1MHz以下、前記第2の電極に印加する高周波電力の周波数を10MHz以上とすることを特徴とする、プラズマ処理方法が提供される。

【0009】請求項4によれば、処理室内に処理ガスを導入すると共に、この処理室内に対向して設けられた第1の電極と第2の電極とに、それぞれ高周波電力を印加してプラズマを発生させ、この処理室内の被処理体に対して、前記プラズマ雰囲気の下で所定の処理を施すプラズマ処理方法において、前記第2の電極には、前記第1の電極に印加される高周波よりも高い周波数の高周波を前記第1の電極に印加される高周波と同じ周波数で振幅変調した電力を印加させることを特徴とする、プラズマ処理方法が提供される。

【0010】請求項5によれば、処理室内に処理ガスを導入すると共に、この処理室内に対向して設けられた第1の電極と第2の電極とに、それぞれ高周波電力を印加してプラズマを発生させ、この処理室内の被処理体に対して、前記プラズマ雰囲気の下で所定の処理を施すプラズマ処理方法において、前記第2の電極には100kHz～1MHzの周波数を有する高周波電力を印加し、前記第1の電極には、10MHz以上の周波数を前記第1の電極に印加される高周波と同じ周波数で振幅変調した電力を印加させることを特徴とする、プラズマ処理方法

が提供される。そのように振幅変調する際には、請求項 6 に記載したように、正弦波、三角波、矩形波、鋸歯状波のいずれか、又はこれらの合成波形によって行うようにしてもよい。

【0011】また本発明が提供するプラズマ処理装置は、請求項 7 に記載したように、第 1 の電極と第 2 の電極とを処理室内において対向して有し、第 1 の電極は整合回路を介して相対的低周波電源に接続され、第 2 の電極は整合回路を介して高周波電源と接続されたプラズマ処理装置において、前記第 1 の電極とその整合回路との間からグラウンドとの間に、容量成分を挿入し、前記第 2 の電極とその整合回路との間からグラウンドとの間に、容量成分と誘導成分とを直列に挿入したことを特徴とするものである。

【0012】また請求項 8 に記載したプラズマ処理装置は、第 1 の電極と第 2 の電極とを処理室内において対向して有し、第 1 の電極は整合回路を介して相対的低周波電源に接続され、第 2 の電極は整合回路を介して高周波電源と接続されたプラズマ処理装置において、前記第 1 の電極とその整合回路との間からグラウンドとの間に、高周波電力に対する合成インピーダンスが数  $\Omega$  以下、かつ低周波電力に対するインピーダンスが数  $k\Omega$  以上となるようにインピーダンス成分を挿入し、前記第 2 の電極とその整合回路との間からグラウンドとの間に、高周波電力に対する合成インピーダンスが数  $k\Omega$  以下、かつ低周波電力に対するインピーダンスが数  $\Omega$  以上となるように、直列に容量成分を含んだインピーダンス成分を挿入したことを特徴とするものである。

#### 【0013】

【作用】請求項 1 によれば、下端イオン遷移周波数よりも低い周波数の高周波電力を第 1 の電極に印加しているので追従性が良好であり、小さいパワーでもイオンを効率よく加速させることができ、しかもイオンの追従性が良いため、イオン電流、電子電流共に電流の変化が滑らかである。またイオンの種類によってもかかる追従性に変化がないので、真空度やガスの混合比などが変化しても安定した処理が可能である。他方第 2 の電極には、上端イオン遷移周波数よりも高い周波数の高周波電力を印加するので、イオンは遷移領域の周波数を受けることはなく、安定したプラズマを発生させることが可能である。それゆえ両者相俟って、安定したプロセスが可能にある。

【0014】請求項 2 では、処理ガスが混合ガスの場合であり、各個別のガスについての各固有の下端イオン遷移周波数の中で最も低い周波数の高周波電力を前記第 1 の電極に印加し、前記処理ガスにおける各個別のガスについての各固有の上端イオン遷移周波数の中で最も高い周波数の高周波電力を前記第 2 の電極に印加しているので、混合ガスにおける全てのイオンの追従性が遷移領域の周波数を受けることはない。従って、請求項 1 の作用

効果がそのまま得られている。

【0015】一般的にエッチング、CVD、スパッタリング等の半導体デバイスの製造プロセスにおけるプラズマ処理において使用される処理ガスのイオン遷移周波数領域は、その殆どが 1 MHz を越えて 10 MHz 未満である。従って請求項 3 によれば、各処理ガスの遷移周波数領域をその都度確認することなく、前記処理ガスの大部分にそのまま適用して、請求項 1 の作用効果が得られる。

【0016】請求項 4、5 によれば、処理室内に処理ガスを導入すると共に、この処理室内に対向して設けられた第 1 の電極と第 2 の電極とに、それぞれ高周波電力を印加してプラズマを発生させ、この処理室内の被処理体に対して、前記プラズマ雰囲気の下で所定の処理を施すプラズマ処理方法において、前記第 2 の電極には、前記第 1 の電極に印加される高周波よりも高い周波数の高周波を前記第 1 の電極に印加される高周波と同じ周波数で振幅変調した電力を印加させるようにしたので、解離が過度に進まないようにすると同時に、イオンあるいはラジカル発生と、イオンの被処理体への加速の位相を制御することにより、処理に必要なイオン、ラジカルを必要なタイミングに発生させ、これを被処理体に入射させることができる。しかもプラズマを発生させるために第 2 の電極に印加される電力は、より低い周波数の電力によって振幅変調されているから、被処理体への損傷も少なくなる。

【0017】この場合の変調は、請求項 6 のように、正弦波、三角波、矩形波、鋸歯状波のいずれか、又はこれらの合成波形によって行うようにすれば、それによってイオンの加速などをコントロールできるので、種々の処理状況に応じて好適に対処することができる。

【0018】また一般的に被処理体を載置する下部電極は、その内部に、被処理体の温度コントロールを実施するための冷媒溜（冷媒室）や、被処理体を上下動させるためのリフター、さらには伝熱ガスの供給管など種々の部材、構成が収納されており、そのため回路的にみればインダクタンス（L）成分となっていた。そのためプラズマが発生した際にはこの下部電極側が高周波に対して大きなインピーダンスを持ち、この下部電極へと電流が流れ難くなって、拡散して処理空間でのプラズマ密度が低くなる場合がある。

【0019】この点、請求項 7 によれば、被処理体を載置する第 1 の電極とその整合回路との間からグラウンドとの間に、容量成分を挿入してあるので、前記第 1 の電極のインダクタンス（L）成分と直列共振回路が構成され、高周波に対してインピーダンスが小さくなる。従って、第 2 の電極からの電流が第 1 の電極に流れやすくなって電流密度が増加してプラズマ密度が高くなるものである。他方、被処理体を載置しない第 2 の電極については、容量成分と誘導成分とを直列に挿入してあるので、

やはり相対的低周波に対してインピーダンスが低下して第1の電極側からの相対的低周波の電流が流れやすくなり、イオンのコントロール性が向上する。

【0020】請求項8に記載のプラズマ処理装置においても、第1の電極とその整合回路との間からグランドとの間に、高周波電力に対する合成インピーダンスが数 $\Omega$ 以下、かつ相対的低周波電力に対するインピーダンスが数k $\Omega$ 以上となるようにインピーダンス成分を挿入し、前記第2の電極とその整合回路との間からグランドとの間に、高周波電力に対する合成インピーダンスが数k $\Omega$ 以下、かつ相対的低周波電力に対するインピーダンスが数 $\Omega$ 以上となるように、直列に容量成分を含んだインピーダンス成分を挿入したので、電流が流れやすくなってプラズマ密度が向上し、しかもイオンコントロール性が向上する。

#### 【0021】

【実施例】以下、本発明の実施例を添付図面に基づき説明すると、図1は本実施例を実施するために用いたエッチング処理装置1の断面を模式的に示しており、このエッチング処理装置1は、電極板が平行に対向した所謂平行平板型エッチング装置として構成されている。

【0022】このエッチング処理装置1は、例えば表面が酸化アルマイト処理されたアルミニウムなどからなる円筒形状に成形された処理容器2を有しており、この処理容器2は接地されている。前記処理容器2内に形成される処理室内の底部にはセラミックなどの絶縁板3を介して、被処理体、例えば半導体ウエハ（以下、「ウエハ」という）Wを載置するための略円柱状のサセプタ支持台4が收容され、さらにこのサセプタ支持台4の上部には、下部電極を構成するサセプタ5が設けられている。

【0023】前記サセプタ支持台4の内部には、冷媒室6が設けられており、この冷媒室6には例えば液体窒素などの温度調節用の冷媒が冷媒導入管7を介して導入可能であり、導入された冷媒はこの冷媒室6内を循環し、その間生ずる冷熱は冷媒室6から前記サセプタ5を介して前記ウエハWに対して伝熱され、このウエハWの処理面を所望する温度まで冷却することが可能である。なお冷媒として、例えば前記したような液体窒素を用いた場合、その核沸騰により生じた窒素ガスは冷媒排出管8より処理室2外へと排出されるようになっている。そして前記絶縁板3、サセプタ支持台4、サセプタ5内部には、後述の静電チャック11を通して被処理体であるウエハWの裏面に、伝熱媒体、例えばHeガスなどを供給するためのガス通路9が形成されており、このウエハWは所定の温度に維持されるようになっている。

【0024】前記サセプタ5は、その上面中央部が凸状の円板状に成形され、その上にウエハWと略同形の静電チャック11が設けられている。この静電チャック11は、2枚の高分子ポリイミド・フィルムによって導電層

12が挟持された構成を有しており、この導電層12に対して、処理容器2外部に設置されている直流高圧電源13から、例えば1.5kVの直流高電圧を印加することによって、この静電チャック11上面に載置されたウエハWは、クーロン力によってその位置で吸着保持されるようになっている。

【0025】前記サセプタ5の上端周縁部には、静電チャック11上に載置されたウエハWを囲むように、環状のフォーカスリング14が配置されている。このフォーカスリング14は反応性イオンを引き寄せない絶縁性の材質からなり、プラズマによって発生した反応性イオンを、その内側のウエハWにだけ効果的に入射せしめるように構成されている。

【0026】前記サセプタ5の上方には、このサセプタ5と平行に対向して、これより約15～20mm程度離間させた位置に、上部電極21が、絶縁材22を介して、処理容器2の上部に支持されている。この上部電極21は、前記サセプタ5との対向面に、多数の吐出孔23を有する、例えばSiC又はアモルファスカーボンからなる電極板24と、この電極板24を支持する導電性材質、例えば表面が酸化アルマイト処理されたアルミニウムからなる、電極支持体25とによって構成されている。

【0027】前記上部電極21における支持板25の中央にはガス導入口26が設けられ、さらにこのガス導入口26には、ガス導入管27が接続されている。このガス導入管27には、ガス供給管28が接続されており、さらにこのガス供給管28は3つに分岐されて、各々バルブ29、30、31、並びにマスフローコントローラ32、33、34を介して、それぞれ対応する処理ガス供給源35、36、37に通じている。本実施例においては、処理ガス供給源35からはCF<sub>4</sub>ガス、処理ガス供給源36からはO<sub>2</sub>ガス、処理ガス供給源37からは不活性のパージガスであるN<sub>2</sub>ガスが供給されるように設定されている。

【0028】前記処理容器2の下部には排気管41が接続されており、この処理容器2とゲートバルブ42を介して隣接しているロードロック室43の排気管44共々、ターボ分子ポンプなどの真空引き手段45に通じており、所定の減圧雰囲気まで真空引きできるように構成されている。そして前記ロードロック室43内に設けられた搬送アームなどの搬送手段46によって、被処理体であるウエハWは、前記処理容器2とこのロードロック室43との間で搬送されるように構成されている。

【0029】また前記エッチング処理装置1の処理容器2内にプラズマを発生させるための高周波電力構成は次のようになっている。即ち、周波数が380kHzの高周波を発振させる発振器51からの高周波信号は、位相コントローラ52（パズ可能）、例えばRFジェネレータなどの増幅器53、デカップリング・コンデンサを含

んだ整合器 54 を経て、給電棒 55 を通じて処理容器 2 内のサセプタ 5 に印加されるように構成されている。そして当該給電棒 55 には、グラウンドとの間にキャパシタンス 56 が、スイッチ  $SW_1$  の切換によって挿入自在となるように構成されている。

【0030】他方、周波数が 13.56MHz の高周波を発振させる発振器 61 からの高周波信号は、振幅変調装置 62 へと入力自在であり、かつこの振幅変調装置 62 をバスして例えば RF ジェネレータなどの増幅器 63 へと直接入力させることも自在である。前記振幅変調装置 62 へは、変調波として、前記 380kHz の高周波を発振させる発振器 51 からの信号も入力されることが自在になっており、それによって周波数が 13.56MHz の高周波は振幅変調された後、増幅器 63、デカップリング・コンデンサを含んだ整合器 64 を経て、給電棒 65 を通じて処理容器 2 内の上部電極 21 に印加することが自在になるように構成されている。

【0031】そしてこの給電棒 65 とグラウンドとの間には、直列になったキャパシタンス 66 とインダクタンス 67 がスイッチ  $SW_2$  の切換によって挿入自在となるように構成されている。このように、上部電極 21 側の給電棒 65 が、インダクタンス 67 をも含んでいるのは、既述したように、サセプタ 5 側には、静電チャック 11、ガス通路 9、冷媒室 6、さらには既述の搬送手段 46 との間でウエハ W を授受する際のリフターピン（図示せず）など様々な機構を含んで厚くなっており、給電棒 55 自体も長い場合、結局サセプタ 5 自体が大きなインダクタンスを持っているためである。

【0032】なおそのように上部電極 21、サセプタ 5 へは、夫々独立した増幅器 64、54 によって高周波電力が印加されるようになっていて、これら上部電極 21、サセプタ 5 に印加する電圧は、夫々独立して可変となっている。

【0033】本実施例にかかるエッチング処理装置 1 は以上のように構成されており、例えば、このエッチング処理装置 1 を用いて、シリコン基板を有するウエハ W 上のシリコン酸化膜 ( $SiO_2$ ) のエッチングを実施する場合について説明すると、まず被処理体であるウエハ W は、ゲートバルブ 42 が開放された後、搬送手段 46 によってロードロック室 43 から処理容器 2 内へと搬入され、静電チャック 11 上に載置される。そして高圧直流電源 13 の印加によって前記ウエハ W は、この静電チャック 11 上に吸着保持される。その後搬送手段 46 がロードロック室 43 内へ後退したのち、処理容器 2 内は排気手段 45 によって真空引きされていく。

【0034】他方バルブ 29 が開放されて、マスフローコントローラ 32 によってその流量が調整されつつ、処理ガス供給源 35 から  $CF_4$  ガスが、バルブ 30 が開放されて、マスフローコントローラ 33 によってその流量が調整されつつ、処理ガス供給源 36 から  $O_2$  ガスがガ

ス供給管 28、ガス導入管 27、ガス導入口 26 を通じて上部電極 21 へと導入され、さらに電極板 24 の吐出孔 23 を通じて、図 1 中の矢印に示される如く、前記ウエハ W に対して均一に吐出される。

【0035】そして処理容器 2 内の圧力が、例えば 1Pa に設定、維持された後、所定の高周波電力をサセプタ 5、上部電極 21 へと印加して所定のエッチング処理を実施するのであるが、かかる場合のまず 1 つの例としては、まず図 1 に示したようにスイッチ  $SW_1$ 、 $SW_2$  を切り離して、キャパシタンス 56、並びにキャパシタンス 66 とインダクタンス 67 を、対応する各々の給電棒 55、56 から切り離しておく。

【0036】その状態で発振器 61、発振器 51、振幅変調装置 62、増幅器 63、53 を作動させると、上部電極 21 へは、例えば図 2 に示したような波形の高周波電力が印加され、対向するサセプタ 5 との間にプラズマが発生する。他方、サセプタ 5 へは、発振器 51 によって図 3 に示した波形の高周波（相対的低周波）電力が印加され、前記プラズマ中のイオンを加速してサセプタ 5 側へと引き寄せ、それによってウエハ W に対して所定のエッチングがなされるのである。

【0037】この場合、プラズマを発生させる高周波は、図 2 に示した波形であるから、処理容器 2 内に導入した処理ガスの解離を過度に進めることはない。また他方プラズマ中のイオンを加速してウエハ W に引き寄せる 380kHz の高周波は、位相コントローラ 52 によってその位相を制御することが可能である。従って、図 2 の高周波によってイオン解離が過度に進まない時に、当該イオンをウエハ W に引き寄せることが可能である。即ち、所定のエッチングに最も適したイオンが生成された時にこれをウエハ W に入射させることが可能となるのである。従って選択比の高いエッチングを実施することが可能である。

【0038】なおプラズマ中のイオンをウエハ W に引き寄せる 380kHz の高周波の位相の制御は、そのように過度に解離が進まない状態を指標とするだけでなく、例えば解離が最終段階にまで進み、その後また再結合してエッチングに適したラジカルになった状態を指標、目安としてもよい。

【0039】さらにいえば、実際の処理においては、例えばダミーウエハを使用して、380kHz の高周波の位相をずらす度合いを確認して処理してもよく、その場合、例えば処理ガス、エッチング、下地などの種類によって、予め 380kHz の高周波の位相をずらすタイミングを設定しておいても良い。

【0040】次に前出エッチング処理装置 1 を使用した他のエッチング処理方法について説明すると、この例では、スイッチ  $SW_1$ 、 $SW_2$  を投入して、キャパシタンス 56、並びにキャパシタンス 66 とインダクタンス 67 を、対応する各々の給電棒 55、56 に接続しておく。

そして高周波電力をサセプタ 5、上部電極 21 に夫々印加するにあたり、サセプタ 5へは、位相コントローラ 52 をパスして発振器 51 からの 380 kHz の高周波信号を増幅器 53 で直接に増幅させ、これを整合器 54 を介してサセプタ 5 へと印加させる。他方発振器 61 から発振される 13.56 MHz の高周波も、振幅変調装置 62 をパスしてそのまま増幅させて、整合器 64 を介して給電棒 65 から上部電極 21 へと印加させる。

【0041】この場合、サセプタ 5 側の整合器 54 は、380 kHz の高周波に対しては整合が取れている状態で、上部電極 21 から入射される 13.56 MHz の高周波に対しては、なんら手当をしない状態では高インピーダンスとなって、上部電極 21 から入射された高周波はサセプタ 5 へは流れにくくなる。そのため、従来はプラズマの拡散を引き起こし、プラズマ密度の低下、処理の不均一性の原因となっていた。

【0042】しかしながら、本実施例では、給電棒 55 とグランドとの間にキャパシタンス 56 が挿入されているため、上部電極 21 から導入される高周波に対して、直列共振回路を形成することができる。従って、分布回路定数を考慮してこのキャパシタンス 56 の値を適宜調整することにより、合成インピーダンスを数  $\Omega$  以下にすることができ、上部電極 21 からの高周波をサセプタ 5 へと流れやすくして電流密度を上げることが可能になり、発生するプラズマ密度を高くすることができるのである。

【0043】他方、上部電極 21 側の給電棒 65 にも、直列になったキャパシタンス 66 とインダクタンス 67 が挿入されているので、前記と同様な理由により 380 kHz の高周波に対して直列共振回路を形成し、サセプタ 5 側に印加された 380 kHz の高周波は、上部電極 21 に流れやすくなって、プラズマ中のイオンのウエハ W への入射をより促進させることができる。

【0044】従って高いプラズマ密度の下で、高微細加工のエッチングをウエハ W に対して施すことができる。また前記したように、上部電極 21-サセプタ 5 間の各高周波が流れやすくなっているため、パワーをさほど上げなくてもプラズマ密度を高くすることが可能になり、従来よりもウエハ W にダメージを与える可能性が低下している。従って歩留まりも向上する。

【0045】なお前記した例では、上部電極 21 には 13.56 MHz、サセプタ 5 には 380 kHz の高周波を夫々印加したが、かならずしもかかる周波数にこだわる必要はなく、処理ガスの種類に応じて、夫々の周波数を設定しても良い。この場合、プラズマ中のイオンの追従性に鑑みれば、導入する処理ガス固有のイオン遷移周波数を基準にすると好ましい結果が得られる。

【0046】即ちサセプタ 5 には、下端イオン遷移周波数 (LITF) よりも低い周波数、例えば 1 MHz 以下の高周波電力を印加するようにし、上部電極 21 には、

上端イオン遷移周波数 (UITF) よりも高い周波数、例えば 10 MHz 以上の高周波電力を印加するようにすればよい。そうすることにより、低いパワーでイオンが効率よく加速され、ガス系の混合比や真空度を僅かに変化させた場合にも、シース内のイオンのバイアス高周波への追従性が安定する。従って、シース内で散乱を受けないでイオンをウエハ W に入射させることができるので、微細な加工を高速で行うことができる。またウエハ W に安定した入射エネルギーでイオンを入射させることができるので、安定したプロセスを実施できる条件が従来より広がり、処理速度、選択比、形状などを同時に満足できるプロセス条件を実現させることができる。もちろん従来よりパワーを小さくできるので、ウエハ W の損傷が少なくなり、歩留まりも向上する。

【0047】なお処理容器 2 内に導入するガスが、例えば A、B、C の 3 種類のガスの混合ガスであって、図 4 に示したようにそれぞれの遷移周波数領域 Az、Bz、Cz が各々異なっている場合には、各遷移周波数領域 Az、Bz、Cz の各上端イオン遷移周波数 Au、Bu、Cu の中で最も高い周波数 (図 4 の例では Bu) よりも高い周波数を上部電極 21 に印加し、各遷移周波数領域 Az、Bz、Cz の各下端イオン遷移周波数 Al、Bl、Cl の中で最も低い周波数 (図 4 の例では Cl) よりも低い周波数をサセプタ 5 に印加するようにすればよい。

【0048】なお前記した各実施例は、いずれも被処理体が半導体ウエハであって、処理がエッチングの場合であったが、本発明はこれに限らず、例えば LCD 基板を処理対象とする処理にも適用でき、また処理自体の種類もエッチングに限らず、スパッタリング、CVD 処理に対しても適用することが可能である。

【0049】

【発明の効果】請求項 1、2、3 によれば、第 1 の電極に印加される高周波電力によるイオンの追従性が良好であり、小さいパワーでもイオンを効率よく加速させることができる。しかもプラズマ自体の安定しているので、真空度やガスの混合比などが変化しても安定した処理が可能である。

【0050】請求項 4、5、6 によれば、解離が過度に進まないようにすると同時に、イオンあるいはラジカル発生とイオンの被処理体への加速の位相 (第 1 の電極側に印加される電力の位相) を制御することにより、処理に必要なイオンあるいはラジカルを必要なタイミングに発生させ、かつこれらを被処理体に入射させることができる。従って、選択性の良好なプラズマ処理が可能である。また被処理体の損傷も抑えられる。また特に請求項 6 によれば、種々の処理状況に適切に対処できるコントロールが可能である。

【0051】請求項 7、8 によれば、高周波電力のパワー、周波数を上げることなく、プラズマ密度を高くする

ことができ、しかもイオンコントロールをより容易ならしめることができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の実施例にかかるエッチング処理装置の断面説明図である。

【図 2】実施例において上部電極に印加される高周波の波形を示すグラフである。

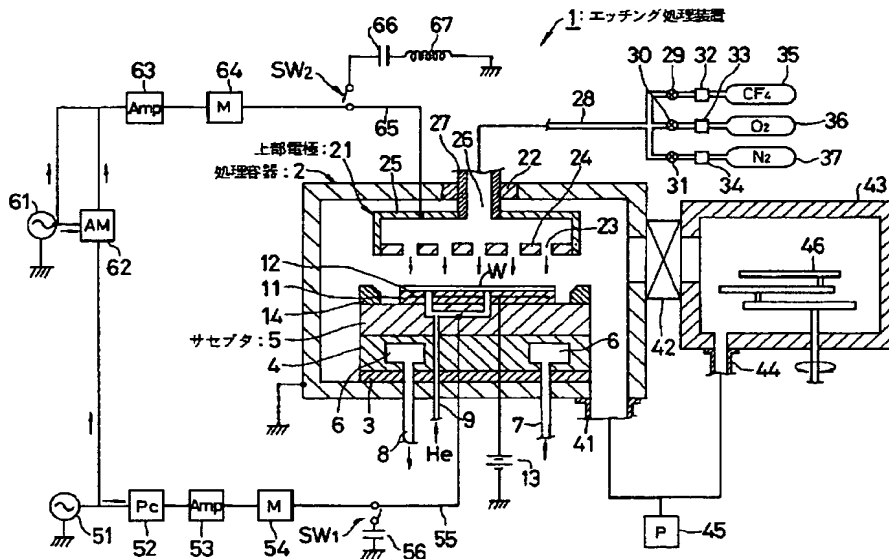
【図 3】実施例においてサセプタに印加される高周波の波形を示すグラフである。

【図 4】異なった遷移周波数領域を持つガスを使用する場合の、採用すべき上端イオン遷移周波数、下端イオン遷移周波数を示す説明図である。

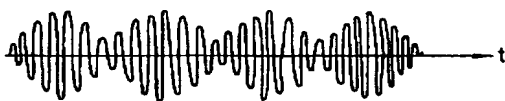
【符号の説明】

- 1 エッチング処理装置
- 2 処理容器
- 5 サセプタ
- 21 上部電極
- 51、61 発振器
- 52 位相コントローラ
- 53、63 増幅器
- 54、64 整合器
- 56、66 キャパシタンス
- 67 インダクタンス
- W ウエハ

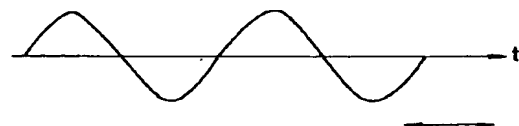
【図 1】



【図 2】

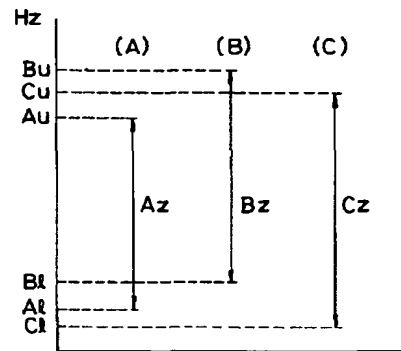


【図 3】





【図 4】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.<sup>5</sup>

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

H 0 1 L 21/203

S 8719-4M

21/31